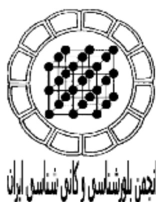
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی و یکم، شمارۀ سوم، پاییز ۱۴۰۲، از صفحۀ ۵۵۳ تا ۵۶۴



بررسی زمین‌شناسی،کانی شناسی و چگونگی حضور طلا در بخش اکسایشی معدن مس- طلای شادان، خراسان جنوبی

پریوش مهدوی[1] ، علیرضا جعفری راد[1*]، ثریا هویس[3]، محمد لطفی[4]، نیما نظافتی[1،2]

۱ -گروه علوم زمین، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- موزه معدن آلمان، بوخوم

۳- دانشگاه لودویگ ماکسیمیلیان، مونیخ،LM-U، آلمان

۴- پژوهشکده علوم زمین سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۸، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲)

چکیده: کانسار مس- طلای پورفیری شادان در کرانه شرقی کمربند آتشفشانی- نفوذی ترشیری قطعه لوت قرار دارد. محلول‌های ماگمایی- گرمابی برآمده از داربستی گرانیتی- گرانودیوریتی پورفیری که بیشتر در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده‌اند باعث رخداد انواع دگرسانی‌های فراگیر پتاسیمی، پتاسیمی- فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک در منطقه شده‌اند. سامانه کانی‌زایی در ذخیره شادان به صورت‌های پورفیری، فراگرمایی-رگه‌ای و برش‌های گرمابی کانه‌دار رخ داده است. کانی‌سازی پورفیری بیشتر بصورت افشان و داربستی در توده گرانودیوریتی و نوع رگه‌ای بصورت رگچه‌های کوارتز سولفیدی و کربناتی با روند عمومی شمالغرب- جنوبشرق دیده می‌شود. کانی‌زایی به دو صورت اکسیدی (بیشتر هماتیت، مگنتیت، لیمونیت و گوتیت) و سولفیدی (بیشتر پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و کولیت) قابل شناسایی است. با توجه به شواهد صحرایی، میکروسکوپی و دماسنجی، خاستگاه کانسار مس- طلای شادان در گستره ذخایر پورفیری – فراگرمایی قرار دارد. نتایج تجزیه کانسنگ اولیه نشان می‌دهد که عناصر اصلی در کانسنگ مس و طلا هستند. طیف پراکندگی انرژی پرتوی ایکس (EDX) ۵۳ ذره طلا نشان می‌دهد که طلای آزاد یا الکتروم در اندازه حدود ۱ تا ۱۰ میکرون به سه صورت؛ تکی، بین دانه‌ای و به دام افتاده و بیشتر درون کانی‌های اکسیدی لیمونیت و هماتیت تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: *کانی شناسی؛ پهنه اکسیدی؛ طلا؛ مس، شادان؛ پورفیری؛ خراسان جنوبی.*

مقدمه

کانسار مس- طلای شادان در استان خراسان جنوبی در ۸۰ کیلومتری جنوب غربی شهر بیرجند شرق قطعه لوت بین طول‌های جغرافیایی ″۰۰′ ۰۰°۵۹ – ″۴۳′ ۵۶°۵۸ غربی و عرض‌های جغرافیایی ۴′۲۵° ۳۲ – ۵۰′۲۰°۳۲ شمالی و در برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ سرچاه شور قرار دارد. منطقه مورد بررسی از نظر زمین‌ساختاری بخشی از پهنه فلززایی شرق لوت محسوب می‌گردد که در کمربند آتشفشانی نفوذی ترشیاری قطعه لوت واقع است. رخداد فعالیت‌های ماگمایی گسترده با ویژگی‌های زمین‌شیمی متفاوت در جایگاه زمین‌ساختی قطعه لوت باعث شده است که این بلوک مکان مناسبی برای تشکیل انواع ذخایر معدنی فلزی و غیرفلزی در منطقه باشد (شکل ۱) [۱-۴]؛ کانی سازی مس- طلای پورفیری ماهرآباد [۵-۷]، فراگرمایی سولفیدشدگی بالای چاه شلغمی [۸]، طلای پورفیری فراگرمایی کوه شاه [۹] و فراگرمایی ماهور [۱۰]، همه از آن جمله هستند.

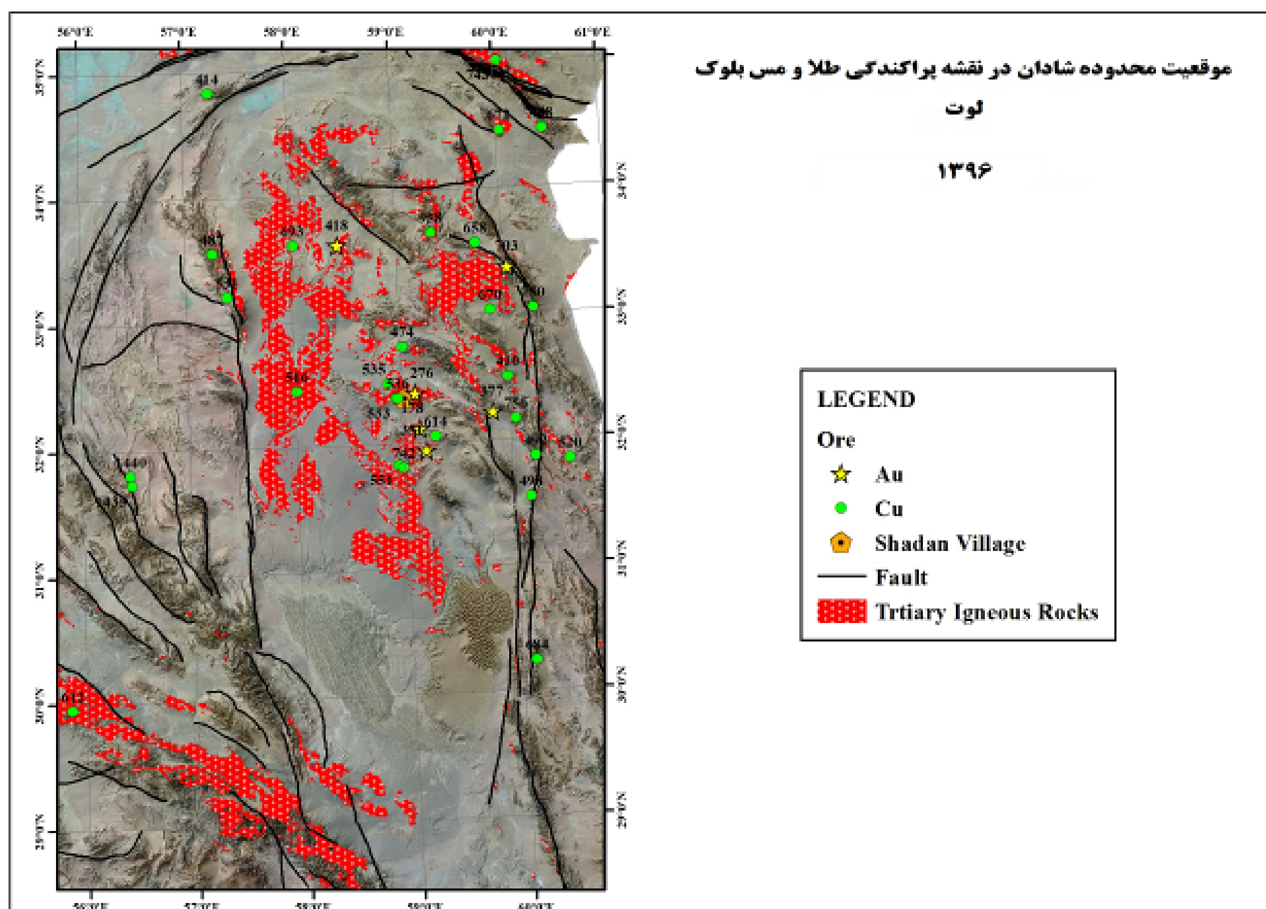
بررسی‌های زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و سن‌سنجی به نسبت جامعی در پهنه فلززایی شرق قطعه لوت توسط گروه‌های اکتشافی خارجی و ایرانی صورت گرفته است [۱۱-۱۶]. پی-جویی‌های تفصیلی در سال ۱۳۸۶با حفاری و مغزه‌گیری بطول ۱۳۶۵ متر [۱۷] انجام شد.

انجام اکتشافات تفصیلی با حفر ۱۴ ترانشه و ۲۱ کیلومتر

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۶۰۵۷۹۲۸، پست الکترونیکی:parivash.mahdavi@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.10.5]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.553]



شکل۱ موقعیت منطقه اکتشافی شادان (نشانه ستاره) درنقشه پراکندگی طلا و مس قطعه لوت شرق ایران [۱].

حفاری مغزه گیری از ۸۰ حلقه گمانه [۱۸-۲۰] شرایطی عالی برای بررسی داده‌های عمقی فراهم کرده است. استفاده از این داده‌های عمقی در بررسی کانی‌سازی و خاستگاه می‌تواند به نتیجه دقیق‌تر منجر شود. در این پژوهش، براساس شواهد زمین‌شناسی، بافتی و کانی‌شناسی پهنه‌های دگرسانی و رگه-های کانه‌دار و بررسی چگونگی کانی سازی طلا و انواع رخداد آن در فازهای اکسیدی همزمان تشکیل شده با کانه‌های سولفیدی و اکسیدی برونزاد، اطلاعات جامعی از روند کانی-سازی، سازوکار تشکیل و نوع ذخیره شادان به دست آمده است. بررسی دقیق این ذخیره افزون بر جنبه علمی-پژوهشی آن، می‌تواند الگوی اکتشافی مناسبی برای ذخایر دیگر در این پهنه فلززایی و در ایران فراهم نماید.

روش بررسی

در این پژوهش، نخست بر اساس نتایج پیمایش گمانه از هر متر گمانه‌ها نمونه برداری شد و نمونه‌ها به روش عیارسنجی گرمایی برای طلا و طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) برای سایر عناصر در آزمایشگاه زرازما تجزیه شدند. (در معدن شادان، برای برآورد ذخیره ۲۱۰۰۰ متر حفاری و مغزه‌گیری در ۸۳ گمانه اکتشافی در شبکه‌ای منظم انجام شده است.) بر اساس داده‌های موجود، دو بخش اکسیدی و سولفیدی ذخیره تفکیک و شکل توده ماده معدنی مشخص گردید.

براساس بررسی‌های انجام شده، ۲۱۰۰ متر از گمانه‌ها در بخش اکسیدی ماده معدنی قرار دارند. اندازه این گمانه‌ها مشخص و نمونه‌ها از نیمه سمت راست هر متر گمانه برداشت شد و همه آنها خردایش و در چند مرحله تقسیم گردیدند تا همگن شوند. از نمونه همگن، ۵۰۰ کیلو برداشت و برای آزمون فراوری جدا شد و از هر ۵۰ کیلوی آن، یک نمونه برای تجزیه به روش ICP-OES برداشت گردید (۱۰ نمونه). به منظور بررسی‌های کانی‌شناسی، از بین نمونه‌های برداشت شده، نمونه مناسب برای تهیه ۵۰ مقطع نازک و ۵۰ مقطع صیقلی انتخاب

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.10.5]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.553]

گردید و ویژگی‌های میکروسکوپی آنها با میکروسکوپ دومنظوره بررسی شد. ترکیب کانسنگ به روش ICP -OES تعیین شد. تجزیه‌ها در شرکت تحقیقات معدنی زین‌های (Xinhai) کشور چین انجام گردید. برای اندازه گیری عناصر کمیاب و گرانبها (طلا و نقره) به روش ICP-OES، نمونه‌ها به دو روش انحلال اسیدی با تیزاب سلطانی و انحلال سیانیدی آماده شدند. برای شناسایی رخداد طلا در فازهای اکسیدی و سولفیدی، تعیین اندازه ذرات و تفکیک انواع مختلف پیدایش آنها از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) تهیه شده از مقاطع صیقلی با دستگاه مدل TESCAN VEGA3 در آزمایشگاه شرکت تحقیقات معدنی زین‌های استفاده گردید.

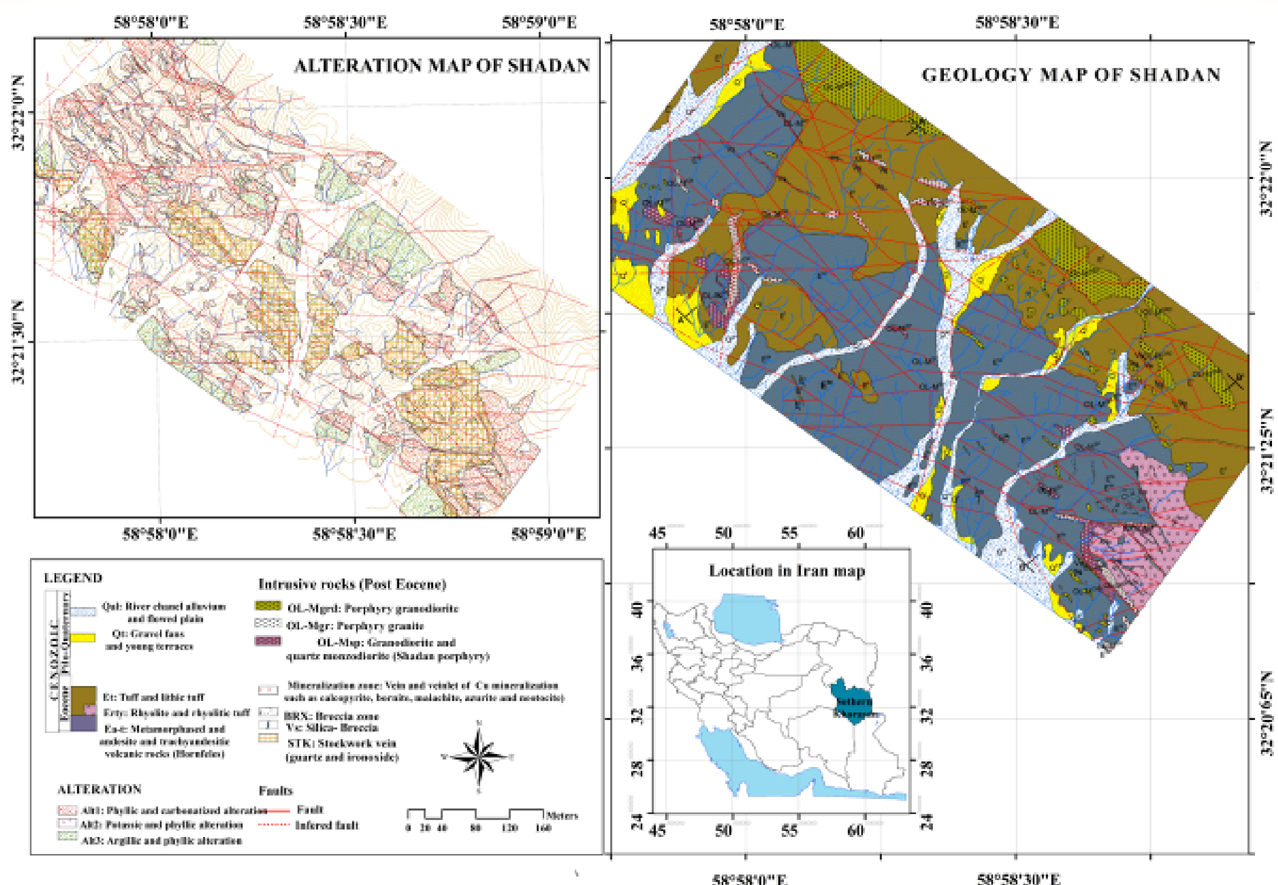
بحث و بررسی

زمین‌شناسی منطقه

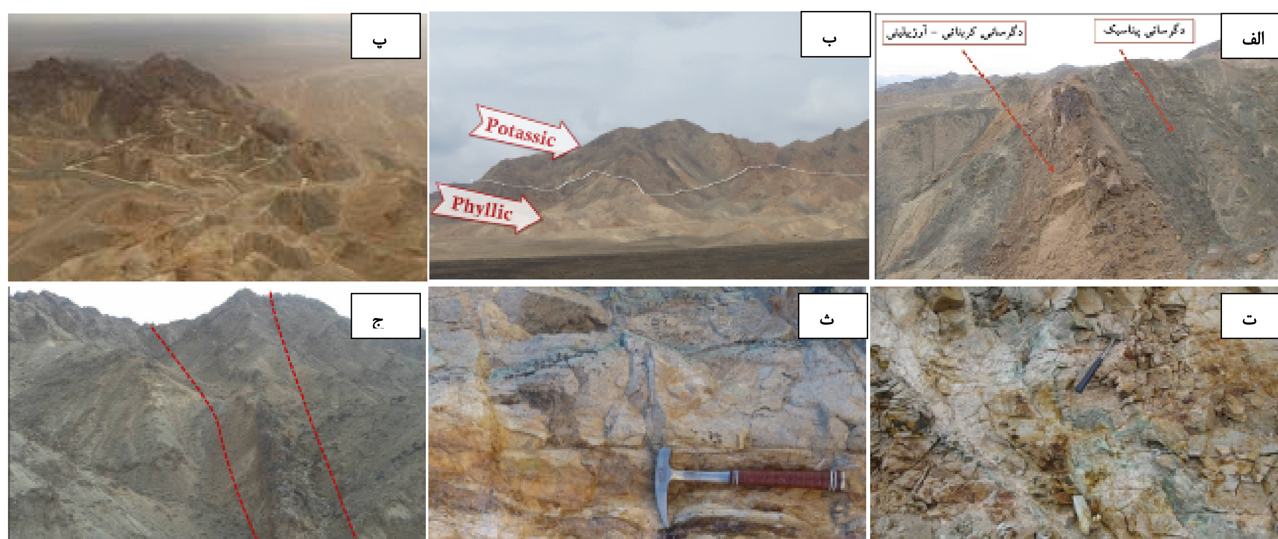
واحدهای سنگی در گستره کانسار شادان شامل ۱) رخنمون-هایی از سنگ‌های آتشفشانی با سن ائوسن، ۲) سنگ‌های نفوذی عمیق و نیمه عمیق با سن ائوسن-الیگوسن، ترکیب حدواسط، با دگرسانی و در ارتباط با کانی‌سازی که در واحدهای آتشفشانی نفوذ کرده‌اند و ۳) واحدهای عمیق و نیمه عمیق تازه و بدون دگرسانی هستند (شکل ۲).

واحد آندزیتی(E^{ta})، که بخش عمده‌ای از منطقه شادان را شامل می‌شود و قدیمی‌ترین واحد سنگی شناخته شده در منطقه است، در بخش‌های غربی و مرکزی کانسار گسترش دارد. سنگ‌های آندزیتی در اثر نزدیکی با توده‌های نفوذی در بخش‌های لبه‌ای هورنفلسی شده‌اند. این واحد دچار دگرسانی-های پتاسیمی، فیلیک و کربناتی- آرژیلیکی شده و همچنین دربرگیرنده بخشی از کانی‌زایی طلا – مس شادان است (شکل ۳ الف).

واحد توف آندزیتی (Et) گسترش بسیاری در بخش‌های شرقی منطقه دارد و رخنمون‌های این واحد بخش‌های مرتفع غربی منطقه را تشکیل می‌دهند. رخنمون‌های این واحد به صورت توف، لاپیلی توف و توف برشی دیده می‌شوند و مستقیم روی واحد آندزیتی قرار دارند.



شکل۲ نمایی از نقشه زمین‌شناسی و دگرسانی ۱:۱۰۰۰ تهیه شده از منطقه شادان.(برگرفته از نقشه زمین شناسی۱:۱۰۰۰ شادان، تهیه شده توسط شرکت کارند صدر جهان با تغییرات).



شکل ۳ الف) گسترش دگرسانی‌های پتاسیمی و کربناتی-آرژیلی در سنگ‌های آندزیتی(دید به سمت جنوب شرق)، ب) گسترش دگرسانی‌های فیلیک و پتاسیمی در سنگ‌های ریولیتی در شرق منطقه (دید به سمت شرق) ، پ) ریخت شناسی خشن در کوارتزمونزونیت‌ها (دید به سمت شمال‌شرق) ، ت) کانی سازی مس در توده پورفیری شادان، ث)نمایی از داربستی‌های سیلیسی کانه‌دار در توده پورفیری شادان با کانی‌زایی اکسیدی مس(مالاکیت)، ج) واحد گرانیتی به صورت دایک آپلیتی با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق(دید به سمت غرب).

واحد ریولیت و توف ریولیتی (Erh) در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی منطقه رخنمون دارد و به صورت تدریجی به واحد توف آندزیتی تبدیل می‌شود. این واحد دارای بافت پورفیری با درشت بلورهای فلدسپار (پلاژیوکلاز و سانیدین) و همچنین کوارتز است. این واحد در بخش‌های لبه‌ای توده شادان، پورفیری و دربرگیرنده داربستی‌های سیلیسی است. دگرسانی پتاسیمی در لبه توده پورفیری شادان و دگرسانی فیلیک در بخش‌های لبه‌ای این واحد دیده‌می‌شود (شکل۳ ب).

قدیمی‌ترین توده نفوذی منطقه توده پورفیری کوارتزمونزنیت-گرانودیوریتی(Pgd) بوده که عامل کانه‌زایی مس- طلا شادان است، که این واحد را توده پورفیری شادان می‌نامیم. این توده در بخش‌های شرقی منطقه با روند شمال-غربی- جنوب‌شرقی و در سه منطقه مجزا، به صورت داربستی، زائده و گاهی دایک ریزگرانودیوریتی دیده می‌شود. گستره ترکیبی این توده از کوارتزمونزنیت تا گرانودیوریت متغیر بوده اما برتری ترکیبی با گرانودیوریت است. آثار کانی‌زایی مس و تراکم بالای رگچه‌های سیلیسی کانه‌دار با بافت داربستی در این واحدها دیده می‌شود. این توده در واحدهای ائوسن نفوذ نموده و عامل کانی‌زایی در سنگ‌های ائوسن نیز این توده است (شکل‌های ۳ پ، ت و ث). در بررسی‌های میکروسکوپ این توده دارای بافت پورفیری و زمینه ریزدانه‌ای است (شکل ۴ الف). سن‌سنجی توده به روش $^{40}Ar/^{39}Ar$ سن دگرگونی‌های فلززایی پورفیری شادان را ۳۷/۲۶ میلیون سال نشان می‌دهد که معادل بخش بالایی ائوسن میانی است [۱۱-۱۶].

توده پورفیری شادان با یک واحد گرانیتی (Gr)، قطع شده است. این واحد گرانیتی اغلب راستای شمال‌غربی- جنوب‌شرقی تا شرقی- غربی داشته و به صورت زائده، و استوک و گاهی دایک آپلیتی در بخش‌های مختلف منطقه شادان رخنمون دارد. این واحد کانی‌زایی ندارد و اغلب پس از تشکیل سامانه کانی-زایی پورفیری شکل گرفته است (شکل ۳ ج). انواع دگرسانی-های کربناتی، آرژیلی و نیز سیلیسی و سریسیتی (با گسترش کم) دیده می‌شود.

واحد گرانودیوریتی (Gd) جوان‌ترین واحد سنگی در منطقه مورد بررسی است. این واحد به صورت داربستی، زائده و دایک‌های ریزگرانودیوریتی در بخش‌های شرقی و جنوبی منطقه دیده می‌شود، بدون کانی‌زایی و اغلب سالم است. سرانجام نیز نهشته‌های کواترنری (Qal,Qt) در بخش‌های غربی و جنوب‌غربی منطقه و در راستای آبراهه‌های اصلی گسترش یافته‌اند [۱۸].

در این منطقه، سه سامانه شکستگی دیده می‌شود که روندهای شمال غربی- جنوب شرقی (N50W)، شرقی-غربی و شمال شرقی-جنوب غربی (N50-70E) دارند. سامانه

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.10.5]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.553]

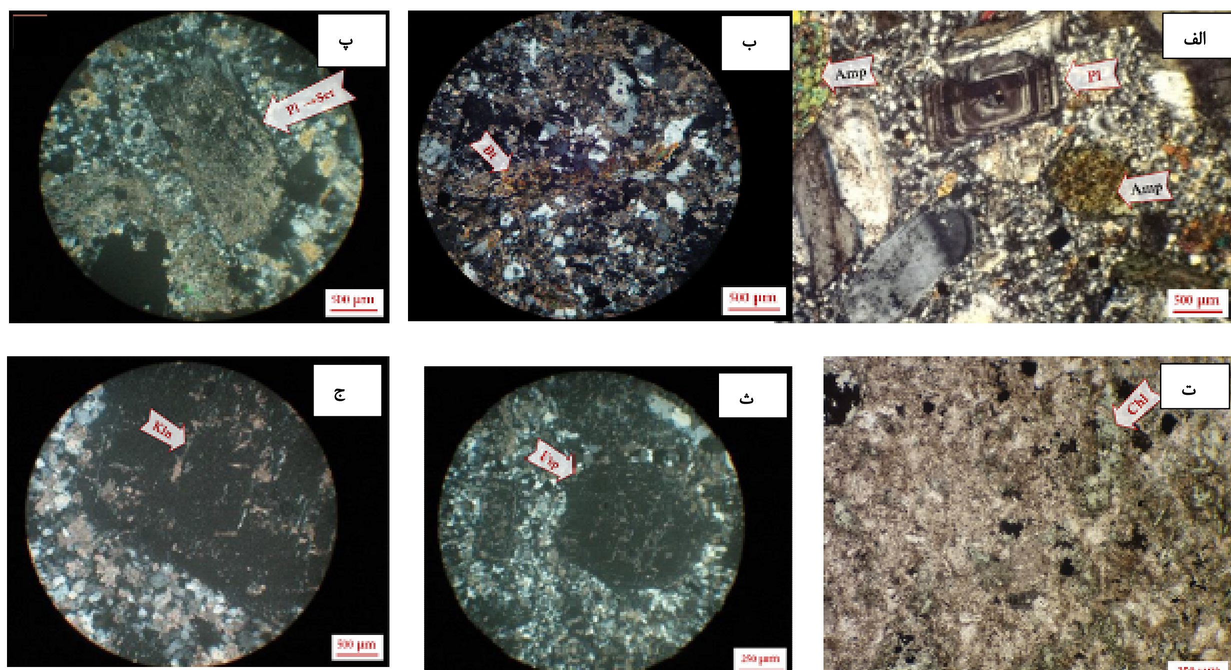
شکستگی شمال‌غربی- جنوب‌شرقی اصلی است و سامانه‌های دیگر در پی آن تشکیل شده‌اند [۱۸-۲۱]. سامانه گسل- خوردگی شمال‌غربی- جنوب‌شرقی در کنترل جایگزینی توده- های نفوذی، تشکیل کانی‌زایی و همچنین ایجاد ساختارهای زمین‌ساختی نقش اصلی داشته است.

دگرسانی در منطقه

پنج نوع دگرسانی پتاسیمی، فیلیک، پروپلیتیک، آرژیلیک و سیلیسی در منطقه تفکیک گردیدند (شکل ۲). دگرسانی پتاسیمی با حضور بیوتیت‌های بدون شکل، مگنتیت و رگه – رگچه‌ای ارتوکلاز به خوبی دیده می‌شود (شکل ۴ ب). دگرسانی فیلیک با حضور سیلیس، سریسیت و گاه پیریت قابل تشخیص است. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و فلدسپارپتاسیمی تقریبا کامل به سریسیت و پاراگونیت تبدیل شده‌اند. در این دگرسانی، کانی سازی مس به صورت اکسیدی و سولفیدی دیده می‌شود (شکل ۴ پ). دگرسانی پروپلیتیک پیرامون دگرسانی آرژیلیک و نیز به صورت مقطعی با دیگر دگرسانی‌ها دیده می‌شود. این دگرسانی با حضور انیدریت، کلریت و اپیدوت شناخته می‌شود (شکل ۴ ت). سرانجام دگرسانی آرژیلیک با کائولینیتی شدن کانی‌های رسی مشخص می‌شود (شکل‌های ۴ ث و ج). همچنین به صورت محدود، دگرسانی گرایزنی با حضور تورمالین در بالای سامانه‌های پورفیری دیده می‌شود.

کانی سازی در منطقه

بر اساس بررسی‌های صحرایی، می‌توان کانی‌سازی شادان را به چهار گروه افشان در توده نفوذی، داربستی، رگه‌ای بیشتر به صورت رگه‌های کربناتی با روند غالب شمال غرب- جنوب شرقی و سرانجام رگه‌های برشی گرمابی به عنوان فاز تاخیری کانی سازی تقسیم نمود. قرار گرفتن کانی‌ها در توده پورفیری به صورت افشان اشاره به اولیه بودن کانی‌سازی دارد؛ به بیان دیگر، توده اصلی کانه‌دار بوده است. رگه و رگچه داربستی و جعبه ای، نیز در سراسر بخش کانه‌دار شادان به خوبی دیده می‌شود و از شواهد سامانه پورفیری کانسار است.



شکل۴ الف) تصویر میکروسکوپی از توده پورفیری شادان با بافت پورفیری و زمینه ریزدانه‌ای و درشت بلورهای آمفیبول و پلاژیوکلاز، ب) حضور بیوتیت ثانویه همراه با کانی‌های کدر (به صورت رگچه) در اثر دگرسانی پتاسیمی در توده پورفیری شادان، پ) دگرسانی فیلیک و تبدیل تقریبا کامل درشت بلورهای پلاژیوکلاز و فلدسپارپتاسیمی به سریسیت و پاراگونیت، ت)تصویر میکروسکوپی از دگرسانی پروپیلیتی در سنگ‌های توفی با حضور کلریت، ث و ج) تبدیل فلدسپار به کانی‌های رسی. همه تصاویر در نور قطبیده متقاطع (XPL) تهیه شده‌اند. (آمفیبول :Amp، بیوتیت:Bt ، پلاژیوکلاز:Pl، سریسیت:Ser ، کوارتز:Qz، فلدسپار:Fsp، کائولینیت:Kln،کلریت:Chl).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.10.5]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.553]

داربستی‌ها اغلب از سیلیس و یا کالکوپیریت و پیریت پر شده‌اند. کانی‌های فلزی افشان اغلب از جنس کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت و کولیت هستند. کانی سازی سولفیدی درونزاد در منطقه مورد بررسی دارای گسترش بسیار و شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت به عنوان کانی‌های اصلی و به مقدار کمتر کوولیت، دیژنیت، انارژیت، تتراهدریت (سولفوسالت‌ها) و مولیبدنیت است. کانی‌های اکسیدی درونزاد در منطقه مورد بررسی شامل مگنتیت و هماتیت هستند که با گسترش محدود در زمینه سنگ دیده می‌شوند. کانی‌سازی برونزاد گسترش محدود دارد. با توجه به شواهد صحرایی، میکروسکوپی و دماسنجی، خاستگاه کانسار مس- طلای شادان در گستره کانسار پورفیری قرار دارد [۲۱-۲۳].

کانی‌شناسی نمونه معرف توده معدنی پورفیری

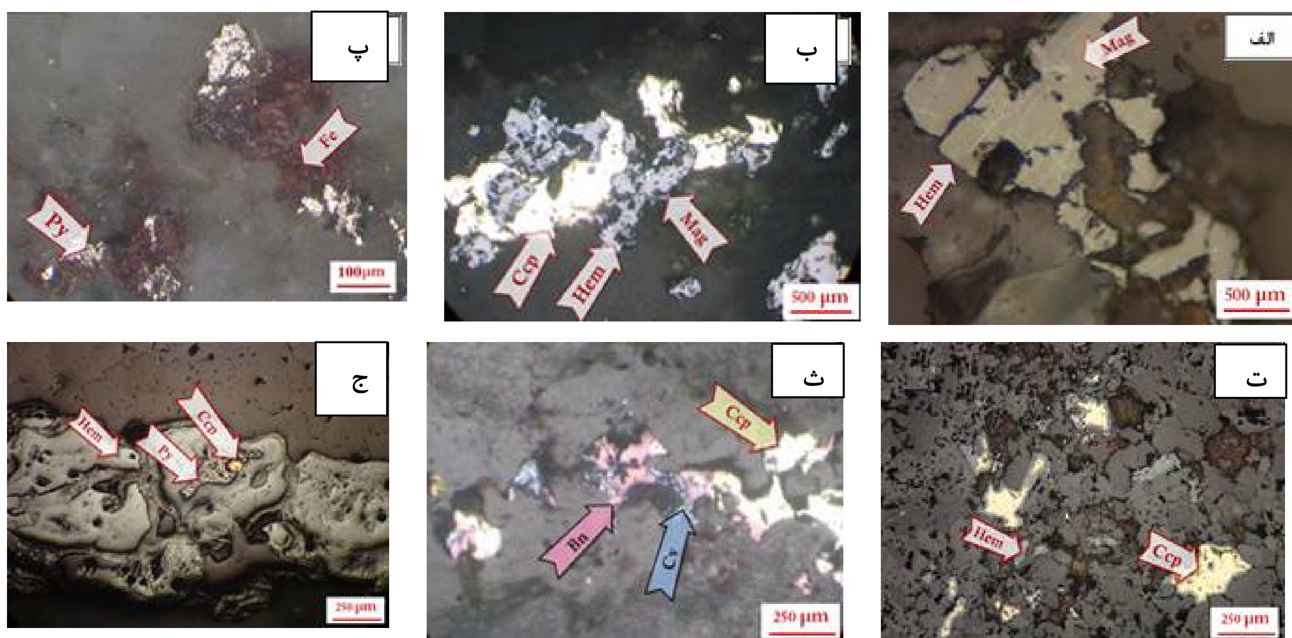
کانه‌های فلزی اصلی در این کانسنگ از جمله هماتیت، مگنتیت، لیمونیت، پیریت، کالکوپیریت،بورنیت و کوولیت هستند و کانی فلزی با ارزش طلاست.

مگنتیت بیشتر به رنگ تیره تا قرمز اخری در ارتباط با کانی هماتیت است، و به صورت بی‌شکل با اندازه ۰/۱ در ۰/۰۷ تا ۰/۲ در ۰/۰۷ میلی متر مربع دیده شدند. بعضی از این کانی ها در راستای رگه ها به هماتیت تبدیل شده‌اند و بعضی دیگر با کانی کالکوپیریت در خط بلوری و در مرکز دچار دگرسانی شده‌اند (شکل‌های ۵ الف، ب).

هماتیت بیشتر به صورت دانه‌های بی‌شکل است. اندازه دانه‌ها ۰/۲ در ۰/۱۵ تا ۰/۴ در ۰/۰۶ میلی مترمربع است. بعضی از این کانی‌ها به لیمونیت تبدیل شده و گاه در اثر دگرنهادی مگنتیت تشکیل شده‌اند.

لیمونیت نشان‌دهنده اکسایش هماتیت و پیریت است و اغلب در لبه هماتیت قرار دارد (بافت حاشیه‌ای). پیریت‌ها به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار و بی شکل بوده و بیشتر آنها درشت دانه با اندازه ۰/۱۵ در ۰/۰۸ تا ۰/۳ در ۰/۳ میلی متر مربع هستند. بخشی از آنها به صورت دانه‌های مجزا هستند، اما بیشتر آنها در اثر دگرسانی‌های مگنتیت و هماتیت تشکیل شده‌اند (شکل۵ پ).

کالکوپیریت‌ها بیشتر به صورت دانه‌های بی‌شکل هستند و اندازه ذرات ۰/۰۷ تا ۰/۰۵ میلی متر است (شکل‌های ۵ ت، ث، ج). آنها اغلب در ارتباط با کانی‌های باطله هستند و یا به صورت پراکنده درون رگه‌ها قرار دارند اما بخشی از این کانی‌ها در راستای رگه‌ها همراه با کوولیت و بورنیت دچار دگرنهادی شده‌اند.



شکل ۵ الف) تصویر میکروسکوپی از پدیده مارتیتی شدن و جانشینی مگنتیت با هماتیت (در راستای برگواری به رنگ روشن، ب) مگنتیت در حال مارتیتی شدن که با فاز سولفیدی کالکو پیریت قطع شده است، پ) کانی سازی کالکوپیریت به صورت افشان در نمونه و جایگزینی آنها از لبه با هماتیت، ت) کانی پیریت همراه با اکسید آهن، ث) کانی کالکوپیریت همراه کانی‌های بورنیت و کوولیت، ج) جایگزینی بلورهای کالکوپیریت و پیریت با هماتیت در رگچه‌های سیلیسی.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.10.5]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.553]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.10.5]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.553]

کوولیت اغلب از دگرنهادی کانی‌های پیریت و کالکوپیریت به وجود آمده است (شکل ۵ ث).

کانی های باطله شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، میکای سفید و به مقدار کمتر بیوتیت، کلسیت، پیروکسن، الیوین و غیره است. آنها اغلب درشت دانه بوده و به صورت ترکیبی با دیگر کانی‌ها هستند. کانی‌های کوارتز زاویه‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و کانی-های فلدسپات به شکل تیغه‌ای و تخت هستند و کانی میکا به شکل صفحه ای و یا دانه‌ای است.

زمین‌شیمی نمونه معرف

عیارسنجی عناصر کمیاب و فلزهای گرانبها در پهنه اکسایشی

ده نمونه برداشت شده از مغزه‌های واقع در بخش اکسایشی گمانه‌های مختلف به روش ICP تجزیه شدند و غلظت میانگین عناصر و انحراف معیار آنها در جدول ۱ آورده شده است. فرآیند آماده‌سازی نمونه شامل خردایش، کاهش حجم با جداساز رایفل، و آسیاب نمونه‌ها معرف تا اندازه ۷۵ میکرون (الک مش ۲۰۰) بود. کانی‌ها باید به اندازه‌ای خرد می‌شدند که بهترین درجه‌ی انحلال را داشته باشند.

برای اندازه گیری عناصر کمیاب و گرانبها (طلا و نقره) با روش ICP-OES، آماده‌سازی نمونه به دو روش انحلال اسیدی با تیزاب سلطانی و انحلال قلیایی انجام شد. در حالت اول، مقدار میانگین طلای موجود در کانسنگ برابر با ۰٫۷۵ گرم در تن اندازه‌گیری شد. مقادیر میانگین مس ۰٫۱۸ ٪، سرب ۰٫۰۲ ٪ و روی ۰٫۰۰۹ ٪ بدست آمد (جدول ۱).

در حالت دوم که فروشویی طلا با صافی سیانیدی انجام شد نیز، مقدار طلای میانگین موجود در کانسنگ برابر با ۰٫۹۶ گرم در تن، مس ۰٫۲۲ ٪، سرب ۰٫۰۱ ٪ و روی ۰٫۰۰۹ ٪بدست آمد (جدول ۲).

جدول ۱ غلظت میانگین عناصر کمیاب ۱۰ نمونه برداشت شده از پهنه اکسایشی به دست آمده به روش طیف سنجی نشر نوری پلاسمای جفت القایی (ICP-OES)، آماده سازی با تیزاب سلطانی.

Element	Cu	Zr	Sr	U	Rb
(ppm)	۱۸۹۳٫۳۱	۸۸٫۹۸	۲۷۷٫۳۶	< LOD	۳۴٫۶۱
Element	Th	Pb	Au	Se	As
(ppm)	۹٫۸۶	۲۲۷٫۴۹	۰٫۷۵	۹٫۷۶	۳۷٫۸۷
Element	Hg	Zn	W	Mo	Ni
(ppm)	< LOD	۸۶٫۸۶	< LOD	۳۸٫۷۲	۷۴٫۶۸
Element	Co	Fe	Mn	Sb	Sn
(ppm)	۱۶۳٫۲۳	۵۶۹۸٫۷۴	۵۹۲٫۲۲	< LOD	< LOD
Element	Cd	Pd	Ag	Nb	Bi
(ppm)	< LOD	< LOD	< LOD	۵٫۳۹	< LOD
Element	Re	Ta	Hf	Cr	V
(ppm)	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	۶۹۲٫۲۷
Element	Ti				
(ppm)	۱۵۶۹٫۸۵				

LOD: حد آشکارسازی

جدول ۲ نتایج تجزیه طلا و نقره با طیف سنج نشر نوری پلاسمای جفت القائی (یکای عناصر لیچ سیانیدی آماده سازی با روش ،(ICP-OES) ستاره دار PPm(.

عنصر	Au*	Ag*	Cu	Pb	Zn
%	۰٫۹۶	۲٫۸	۰٫۲۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰۹
عنصر	S	Fe	Sb	As	
%	۰٫۷۱	۰٫۶۹	۰٫۱۵	۰٫۰۰	

نکته: واحد عناصری با علامت * گرم در تن می‌باشد (ppm).

بررسی‌های SEM

برای بررسی چگونگی رخداد طلا در کانسنگ اکسیدی ، تعیین اندازه ذرات و تفکیک انواع مختلف پیدایش آنها از تصاویر SEM استفاده گردید. ۵۳ دانه‌ی طلا در تصاویر SEM شناسایی شدند. طلا به دو صورت طلای آزاد و الکتروم دیده شد (جدول ۳). دانه‌های طلا اغلب ریز هستند؛ اندازه آنها حدود ۵ تا ۱۰ میکرون و حتی گاهی کمتر از ۵ میکرون است (جدول ۴). پیدایش طلا، بین دانه‌ای و به دام افتاده است (جدول ۵). بیشتر کانی‌های دارای طلا کانی‌های اکسیدی لیمونیت، هماتیت و دیگر کانی‌های دگرسانی شده هستند. آمارها نشان می‌دهد که بیشتر دانه‌های خرد شده طلا در شکستگی‌ها و سوراخ‌های درون بلور لیمونیت و دیگر کانی‌ها قرار گرفته‌اند. طلای آزاد به صورت پراکنده در بین دانه‌ها و شکستگی‌ها و یا به صورت تکی حفظ شده است. طلای به دام افتاده درون کانی‌های دیگر قرار دارد.

جدول ۳ تیپ ذرات طلا

درصد	تعداد	نوع
۷۷٫۴	۴۱	طلای آزاد
۲۲٫۶	۱۲	الکتروم
۱۰۰	۵۳	مجموع

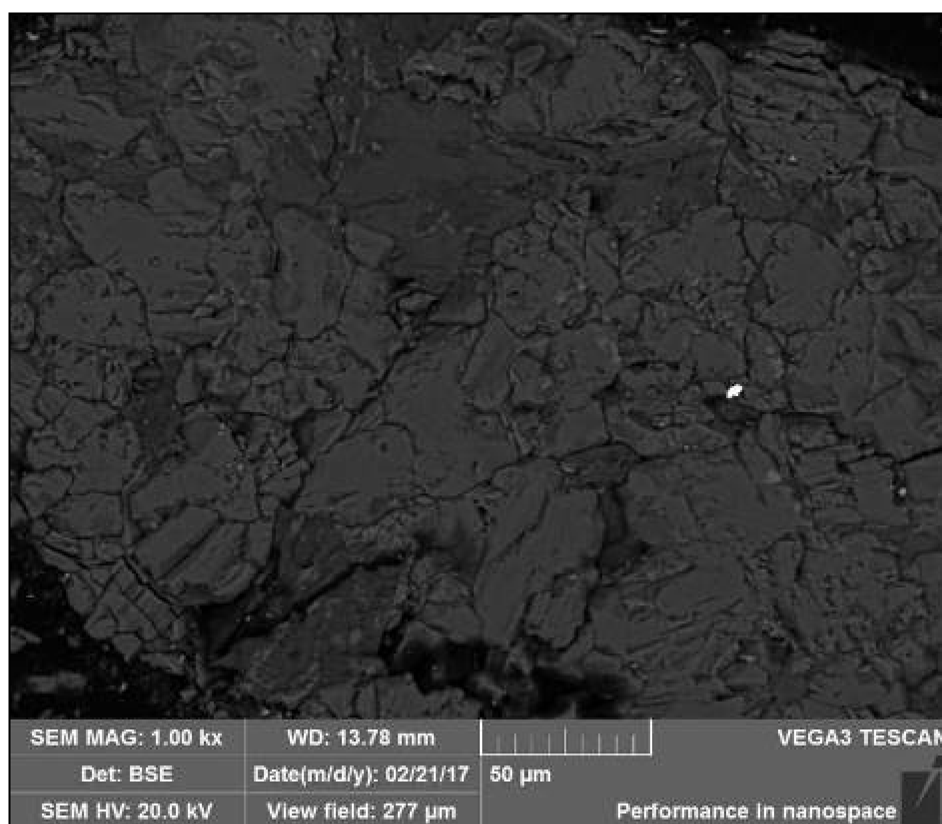
جدول ۴ آمار اندازه ذرات طلا

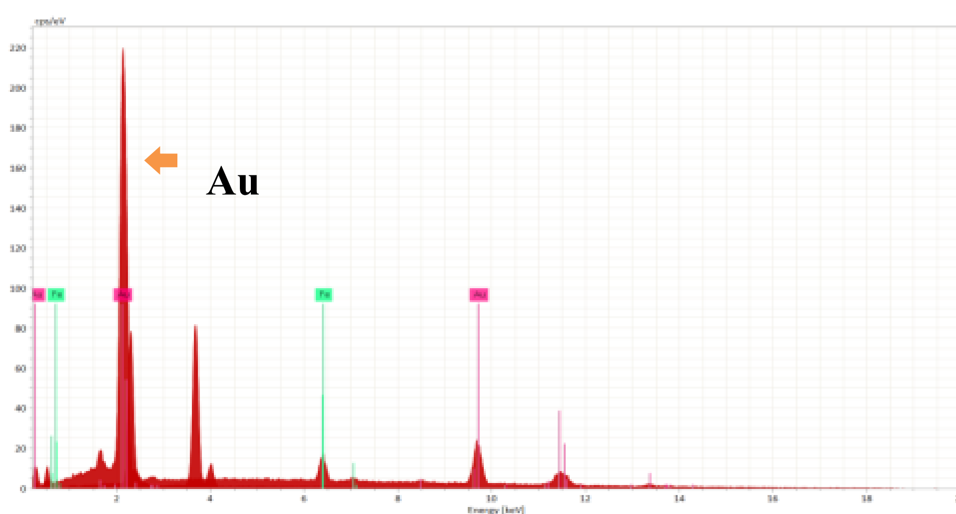
درصد	**تعداد**	**اندازه ذرات (µm)**
۶۷٫۹	۳۶	۱۰-۵
۳۲٫۱	۱۷	< ۵
۱۰۰	۵۳	**Total**

جدول ۵ آمار پراکندگی و ارتباط بین اندازه ذرات طلا و چگونگی پیدایش آنها.

درصد کل	درصد تک	اندازه کوچکتر	اندازه **10~5**	تعداد	اندازه ذرات **(um)**	رخداد
۱۱٫۳	۱۱٫۳	۲	۴	۶		تکی
۴۵٫۳	۱۵٫۱	۱	۷	۸	در خلل و فرج بلور لیمونیت	بین دانه ای
	۹٫۴	۲	۳	۵	در خلل و فرج بلور هماتیت	
	۲۰٫۸	۳	۸	۱۱	در خلل و فرج بلور هماتیت و سایر کانی ها	
۴۳٫۴	۲۴٫۵	۳	۱۰	۱۳	در لیمونیت	به دام افتاده
	۱۳٫۲	۵	۲	۷	در هماتیت	
	۵٫۷	۱	۲	۳	در سایر کانی ها	
۱۰۰	۱۰۰	۱۷	۳۶	۵۳	**مجموع**	

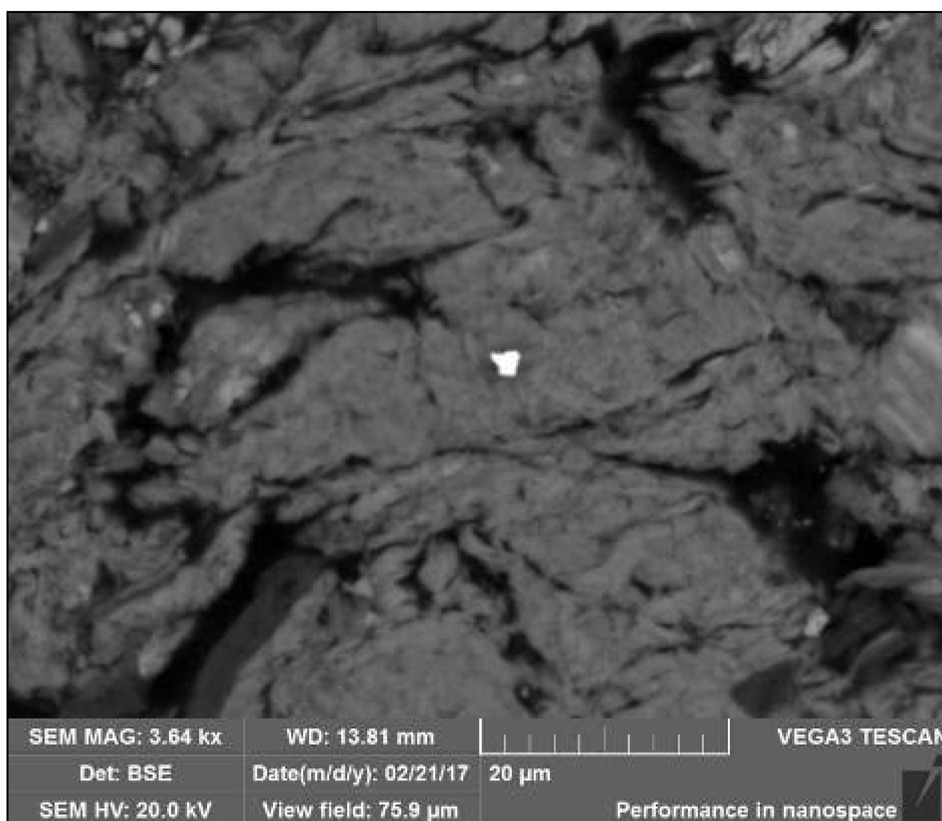
تصاویر SEM و طیف‌های EDX ذرات طلای آزاد به صورت به دام افتاده درون لیمونیت با اندازه حدود ۷ در ۳٫۵ میکرومتر مربع و همچنین ذرات الکتروم سفید و به صورت زاویه‌دار درون لیمونیت با اندازه ۳٫۸ تا ۴ میکرومترمربع را نشان می‌دهد (شکل‌های ۶ و ۷).

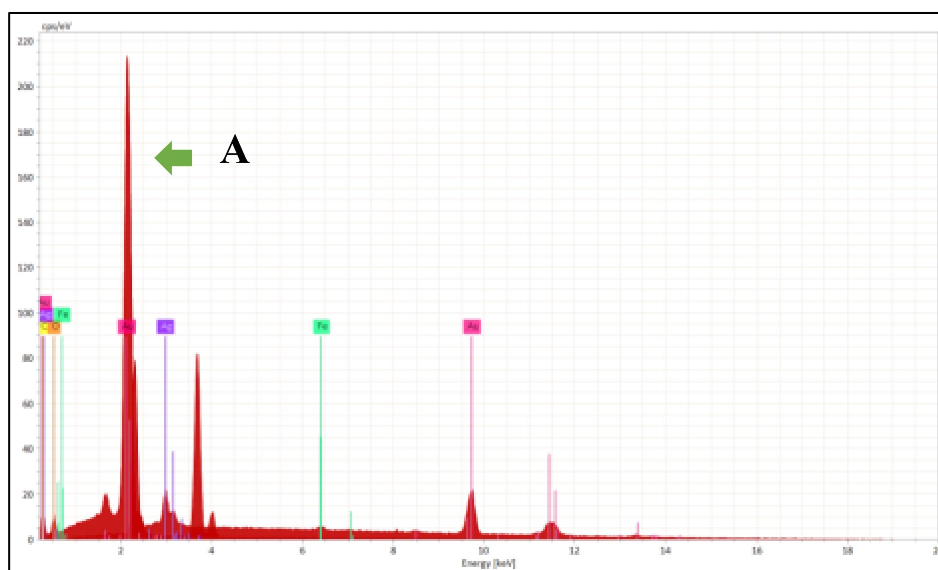




شکل ۶ تصویر SEM با بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر و با مقیاس ۲۲۵ ذرات طلا و طیف EDX است. طلای آزاد در تصویر به صورت سفید و دانه‌های کشیده است و به صورت به دام افتاده درون لیمونیت قرار دارد و اندازه ذره حدود ۷ در ۳/۵ میکرومترمربع است.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.10.5]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.553]





شکل ۷ تصویر SEM با بزرگنمایی ۳۶۴۰ از دانه های الکتروم که به صورت سفید و زاویه دار درون لیمونیت قرار دارند و اندزه دانه ۳٫۸ تا ۴میکرومتر است. طیف تجزیه نقطه ای از بخش طلا دار گرفته شده است که بالاترین قله مربوط به طلاست.

برداشت

نتایج تجزیه‌ها نشان می‌دهد که عناصر اصلی موجود در کانسنگ طلا و مس هستند عیار مس ۰٫۲۲ ٪ و عیار طلا ۰٫۹۶ گرم در تن بوده است.

سیلیتو [۲۴] عیار طلا بین ۰/۱ تا۰/۳ گرم در تن را مربوط به ذخایر Cu-Auپورفیری می‌داند. کانیزایی غالب در کانسار طلا – مس شادان نیز شامل دو بخش اکسیدی و سولفیدی است. کانه‌های فلزی اصلی از جمله شامل هماتیت، مگنتیت،

لیمونیت، پیریت، کالکوپیریت، کوولیت هستند و کانی فلزی با ارزش طلاست.

عیار طلا در نمونه آماده شده با تیزاب سلطانی برابر با ۰/۷۵ گرم در تن و با صافی سیانیدی، مقدار طلای موجود در کانسنگ برابر با ۰/۹۶ گرم در تن است. بالا بودن مقدار طلا در نمونه آمده شده با صافی سیانیدی به دلیل وجود طلای آزاد در ماده معدنی است. از آنجا که طلای آزاد طیف EDX قابل اندازه‌گیری نیست، اغلب برای کنترل بخشی از نمونه نخست صافی سیانیدی شده، سپس مقدار طلای برآمده از صافی اندازه‌گیری می‌شود. در صورت وجود طلای آزاد، اغلب مقدار طلا در این تجزیه بالاتر است که در اینجا این مقدار قابل توجه و حدود ۰/۲۱ گرم در تن است.

براساس تجزیه‌های انجام شده، طلا و مس از عناصر با ارزش برای بازیابی هستند. همچنین نرخ اکسایش مس برابر با ۵۹/۰۹ ٪ است.

اغلب طلا حدود ۷۷/۴ درصد به صورت آزاد وجود دارد. حدود ۶۷/۹ ٪ ذرات طلا، دارای اندازه ۵ تا ۱۰ میکرون و به مقدار کمتر دارای اندازه کمتر از ۵ میکرون هستند. پیدایش طلا به سه صورت؛ تکی، بین دانه‌ای و به دام افتاده است. می-توان گفت که بیشتر کانی‌های طلا، حدود ۴۵/۳ ٪ به شکل بین ذره‌ای وجود دارند و طلای به دام افتاده حدود ۴۳/۴ ٪ و مقدار کمی از آنها به صورت طلای تکی هستند. طلا به راحتی توسط سیانید در زمان استخراج کانی طلا باز گردانده می‌شود. گفتنی است که کانی‌ها باید بیشتر خرد گردند تا به درجه‌ای از انحلال بهتر برسند.

مراجع

[1] Ruttner A., Stöcklin J., *"Geological map of Iran*", scale 1: 1000, 000. Geological Survey of Iran (1967).

[2] Eftekharnejad J., Stockline G., "*Geological map of Sarchahshour, 1:100 000",* Geological Survey of Iran (in Persion) (1972).

[3] Shahab pour J., *"Economic Geology"* (In persion) (2015).

[4] Aghanabati A., "Geological of Iran", Geological Survey of Iran, (2004) 606 pp. (in Persion)

[5] Siahcheshm K., Calagari A.A., Abedini A., *"Hydrothermal evolutions at the Maher-Abad porphyry Cu–Au deposit, South Khorasan, Iran: evidence from fluid inclusions",* Ore Geology Reviews, v.58, p. 1-13 (1st rank of Science Direct Top 25 Hottest paper, October to December 2013) (2014).

[6] Siahcheshm K., Calagari A.A., Abedini A., Sindern S., *"Elemental mobility and mass changes during alteration/mineralization in Maher-Abad porphyry copper-gold deposit, east of Iran",* Periodico di Mineralogia, v 83, 1 (2014) 55-76.

[7] Siahcheshm K., Calagari A.A., Abedini A., Lentz D.R., *"Halogen signatures of biotites from the Maher-Abad porphyry copper deposit, Iran: characterization of volatiles in syn-to post-magmatic hydrothermal fluids*", International Geology Review, v.54 (2012) p. 1353-1368.

[8] Arjamandzadeh S., *"Study of mineralization, geochemistry, dating and determination of tectonomagmatic position of intrusive rocks in Deh Salam and Chah-Shalghami indexes of Lut block, East, Iran*", PhD thesis in economic geology of Ferdowsi University. 369 pp. (2012).

[9] Abdi M., Karimpour M. H, *"Geology, metamorphism, mineralogy, petrogenesis, dating, geochemistry and airborne geophysics of Koh Shah exploration area, southwest of Birjand*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 20, 2 (2014) 77-108.

[10] Mirzaei Raini R., Ahmadi A., Mirenjad H., *"Mineralogical investigations and fluids involved in Mahour polymetallic deposit, east of Lut Block, Central Iran*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 20, 2 (2014) 307-318.

[11] Richards J.P., Spell T., Rameh E., Razique A., Fletcher T., *"High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu±Mo±Au potential: Examples from the Tethyan arcs of central and eastern Iran and western Pakistan",* Economic Geology, 107(2), (2012) pp.295-332.

[12] Shafaroudi A.M., Karimpour M.H., Stern C.R., *"The Khopik porphyry copper prospect, Lut Block, Eastern Iran: geology, alteration and mineralization, fluid inclusion, and oxygen isotope studies",* Ore Geology Reviews, 65, (2015)pp.522-544.

[13] Siahcheshm K., Calagari A.A., Abedini A., *"Hydrothermal evolution in the Maher-Abad porphyry Cu–Au deposit, SW Birjand, Eastern Iran: evidence from fluid inclusions",* Ore Geology Reviews, 58 (2014) pp.1-13.

[14] Shishevan V.G., Jafari M.R., Alilo B.H., Moayed M., *"Application of number-size fractal model in geoelectrical data interpretation for Cu-Au Shadan porphyry deposit exploration, SE Iran",* Advances in Environmental Biology, (2013) pp.2142-2151.

[15] Aghazadeh M., Hou Z., Badrzadeh Z., Zhou L., *"Temporal–spatial distribution and tectonic setting of porphyry copper deposits in Iran: constraints from zircon U–Pb and molybdenite Re–Os geochronology",* Ore geology reviews, 70, (2015) pp.385-406.

[16] Arjmandzadeh R., Santos J.F., *"Sr–Nd isotope geochemistry and tectonomagmatic setting of the Dehsalm Cu–Mo porphyry mineralizing intrusives from Lut Block, eastern Iran",* International Journal of Earth Sciences, 103(1) (2014) pp.123-140.

[17] KarandSaderjahan Co., *"Geological map of Shadan exploratory area, scale 1:5000",* (In persion) (2007).

[18] KarandSaderjahan Co., *"Geological map of Shadan exploratory area, scale 1:1000",* (In persion) (2015).

[19] KarandSaderjahan Co., *"Report on completing exploratory operations in Shadan ore",* (2015)394 pp. (in Persion).

[20] Rio Tinto, *"Report on Shadan Cu-Au Prospect",* 42 (2004).

[21] Geopersia, 1399; 10(2): 263-275. doi: 10.22059/geope.2019.288610.648502.

[22] Becker S.P., Fall A., Bodnar R. J., *"Synthetic fluid inclusions. XVII. PVTX properties of high salinity H2O–NaCl solutions (>30 wt% NaCl): application to fluid inclusions that homogenize by halite disappearance from porphyry copper and other hydrothermal ore deposits*", Economic Geology. 103 (2011) p.539–554.

[23] Sillitoe R.H., *"Porphyry copper systems*", Economic geology, 105(1) (2010) pp.3-41.

[24] Sillitoe R.H., *"Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery",* Reviews in Economic Geology 13(2000)315-345

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.3.10.5]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.3.553]